บทที่ 4

แนวทางการออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงบางส่วน

การออกแบบแผ่นพื้นท้องเรียบโดยวิธีอัดแรงบางส่วน จะต้องพิจารณาออกแบบโครงสร้างให้สอดคล้องทั้ง 2 สภาวะ คือ ที่สภาวะรับน้ำหนักประลัย (Utimate Limit State) และที่สภาวะรับน้ำหนักใช้งาน (Serviceability Limit State)

ที่สภาวะรับน้ำหนักประลัย

โครงสร้างจะต้องมีกำลังต้านทานโมเมนต์ประลัย (Ultimate Moment Resistant) มากกว่าโมเมนต์ประลัย (Ultimate Moment) ที่เกิดขึ้น การออกแบบโดยทั่วไปมักปฏิบัติตามข้อกำหนดมาตรฐาน เช่น มาตรฐาน ACI กำหนดให้ $M_u = 1.4\ M_D + 1.7\ M_L$ เมื่อ M_D คือ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักตายตัว (Dead Load) และ M_L คือ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักจร (Live Load) การวิเคราะห์ที่กำลังดัดประลัย (Ultimate Strength) ของหน้าตัด อาจทำได้โดยใช้วิธีคิดแรงอัดลัพธ์ ในคอนกรีตจากพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมของ Whitney ซึ่งได้นำเสนอในมาตรฐาน ACI จากรูปที่ 2.8 ACI กำหนดความเครียดสูงสุดในคอนกรีต (ϵ_c) เท่ากับ 0.003 ขนาดของหน่วยแรงอัดในคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 0.85 f_c' และแผ่สม่ำเสมอบนพื้นที่รับแรงอัด ab ดังนั้นแรงอัดลัพธ์ในคอนกรีต (C_c) จะเท่ากับ 0.85 $f_c'ba$ โดยที่ระยะ a มีค่าเป็นสัดส่วนกับระยะแกนสะเทิน (Neutral Axis) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\beta_1 c$ ค่าของ β_1 มีค่าเท่ากับ 0.85 สำหรับคอนกรีตที่มีกำลังอัด (f_c') น้อยกว่าหรือเท่ากับ 280 กก/ซม^2 และค่าของ β_1 จะลดลงในอัตรา 0.05 สำหรับอัดคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 70 กก/ซม^2 แต่ทั้งนี้ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0.65 สำหรับหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในลวดอัดแรงที่กำลังดัดประลัย ACI ได้เสนอสูตรทำนายค่าหน่วยแรงสำหรับลวดอัดแรงชนิดยึดเหนี่ยว (Bond Tendon) ดังสมการที่ 4.1 แต่ทั้งนี้หน่วยแรงอัดประสิทธิผล (f_{se}) ต้องไม่น้อยกว่า 0.50 f_{pu} สำหรับหน่วยแรงในเหล็กเสริมจะถือว่าถึงจุดคลาก ที่สภาวะรับน้ำหนักประลัย

$$f_{ps} = f_{pu} [1 - 0.5 \rho_p . (f_{pu}/f_c')] \qquad (4.1)$$

จากรูปที่ 2.8 จะได้ว่า

$$T = C_c$$

$$A_{ps}f_{ps} + A_s f_y = 0.85 f_c' ba$$

ดังนั้น

$$a = (A_{ps}f_{ps} + A_s f_y) / (0.85 f_c' b) \qquad (4.2)$$

ดัชนีเหล็กเสริม

$$\bar{\omega} = \frac{A_{ps}f_{ps}}{bdfc'} + \frac{A_s f_y}{bdfc'} \qquad (4.3)$$

$$a = (d/0.85) (\omega_p + \omega_s)$$

ดังนั้น

$$a = 1.176\ d\ (\bar{\omega}) \qquad (4.4)$$

กำลังดัดประลัย

$$M_u = \phi\ T\ (d-a/2)$$

$$M_u = \phi\ (A_{ps}f_{ps} + A_s f_y) [d - (0.59\ d\ \bar{\omega})]$$

$$M_u = \phi\ bd\ f_c'\ (\bar{\omega})\ (d - 0.59\ d\ \bar{\omega})$$

ดังนั้นกำลังดัดประลัย

$$M_u = \phi\ bd^2 f_c'\ (\bar{\omega})\ (1 - 0.59\ \bar{\omega}) \qquad (4.5)$$

Naaman และ ดร.อำนวยพร (19) ได้ประยุกต์ใช้สมการวิเคราะห์กำลังดัดประลัยของ ACI เสนอ วิธีออกแบบคอนกรีตอัดแรงบางส่วนซึ่งเรียกว่าวิธี PPR (Partial Prestressing Ratio) ซึ่งเป็นการออกแบบโดยเริ่มต้นจากการกำหนดอัตราส่วนระหว่างค่า

โมเมนต์ดัดจากผลของการอัดแรง (M_p) และโมเมนต์ดัดประลัย (M_u) ดังนั้นอาจแสดงค่า PPR ได้ดังสมการที่ 4.6 และ 4.7

$$PPR = M_p / M_u \qquad (4.6)$$

$$PPR = \frac{A_{ps}f_{ps}(d_p - a/2)}{A_{ps}f_{ps}(d_p - a/2) + A_sf_y(d_s - a/2)} \qquad (4.7)$$

เมื่อ A_{ps} = พื้นที่หน้าตัดของลวดอัดแรง , ซม.^{2}

A_s = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม , ซม.^{2}

d_p = ความลึกประสิทธิผลของลวดอัดแรง , ซม.

d_s = ความลึกประสิทธิผลของเหล็กเสริม , ซม.

f_{ps} = หน่วยแรงในลวดอัดแรงที่สภาวะประลัย , กก./ ซม.^{2}

f_y = หน่วยแรงคลาก (yield) ในเหล็กเสริม , กก./ ซม.

a = ความลึกของพื้นที่รับแรงอัดในคอนกรีตที่สภาวะประลัย , ซม.

Naaman เสนอให้ใช้ระยะความลึกประสิทธิผล d แทน d_p และ d_s โดยที่ d คือระยะจากผิวรับแรงอัด (Compressive Fiber) ถึงจุดศูนย์ถ่วงของแรงดึงในเหล็กเสริมดังนั้นสมการที่ 4.7 อาจเขียนใหม่ได้ดังสมการที่ 4.8

$$PPR = A_{ps}f_{ps} / (A_{ps}f_{ps} + A_sf_y) \qquad (4.8)$$

ลำดับขั้นตอนการออกแบบโดยวิธี PPR สรุปได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1. กำหนดคุณสมบัติหน้าตัดและแรงกระทำ เช่น ขนาดหน้าตัด, กำลังอัดคอนกรีต (f_c') และโมดูลัสยืดหยุ่น (E_s, E_c)

ขั้นตอนที่ 2. ตรวจสอบดูว่า f_{sc} มากกว่า 0.5 f_{pu} หรือไม่ หากมีค่าน้อยกว่าจะต้องทำการวิเคราะห์หาค่า f_{ps} โดยวิธีความเครียดสอดคล้อง (Strain Compatibility)

ขั้นตอนที่ 3. ทำการสมมุติค่า PPR

ขั้นตอนที่ 4. ทำการประมาณค่าความลึกประสิทธิผล(d)โดย $d = PPR.d_p+(1-PPR)d_s$

ขั้นตอนที่ 5. คำนวณหาค่า $\bar{\omega}$ จาก สมการที่ 4.9 ทั้งนี้ $\bar{\omega}$ ต้องน้อยกว่า 0.30 และหากต้องการให้โครงสร้างมีความเหนียวพอเพียง สำหรับการเกิดจุดหมุนพลาสติก $\bar{\omega}$ จะต้องมีค่าน้อยกว่า 0.18 สำหรับเหล็กเสริมเกรด SD50 และน้อยกว่า 0.25 สำหรับเกรด SD30

$$\bar{\omega}(1 - 0.59\,\bar{\omega}) = M_u/(\phi\, bd^2 f_c') \qquad (4.9)$$

ขั้นตอนที่ 6. คำนวณค่าแรงดึงในลวดอัดแรงจากสมการ (4.10)

$$F_{pu} = \bar{\omega}\, bdf_c'.PPR \qquad (4.10)$$

ขั้นตอนที่ 7. คำนวณค่าปริมาณลวดอัดแรง $A_{ps} = F_{pu}/f_{ps}$

เมื่อ $f_{ps} = f_{pu}\,[1 - 0.5\, A_{ps} f_{pu}/bd_p f_c']$

ดังนั้น $A_{ps} = (bd_p f_c'/f_{pu})\,[1 - \sqrt{1-2f_{pu}/bd_p f_c'}\,]$ (4.11)

และ $f_{ps} = F_{pu}/A_{ps}$

ขั้นตอนที่ 8. คำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมจากสมการ 4.12

$$A_s = (F_{pu}/f_y)\,(1 - PPR)\,/\,(PPR) \qquad (4.12)$$

I17170412

ขั้นตอนที่ 9. ตรวจสอบคุณสมบัติด้านการให้บริการ คือ ความกว้างรอยแตกร้าวและการแอ่นตัว

วิธีการออกแบบหน้าตัดเพื่อต้านทานโมเมนต์ประลัย จากขั้นตอน 1-9 สามารถเขียนผัง Flow Chart สรุปขั้นตอนการดำเนินการออกแบบดังแสดงในรูปที่ 4.1

ที่สภาวะรับน้ำหนักใช้งาน

ในการออกแบบภายใต้น้ำหนักใช้งาน โครงสร้างจะต้องมีคุณสมบัติสอดคล้องตามที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งได้แก่ขนาดความกว้างรอยแตกร้าวและการแอ่นตัว จากผลการวิจัยในบทที่ 3 ได้เสนอกราฟความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีเหล็กเสริมและอัตราส่วนการอัดแรงเพื่อการควบคุมความกว้างรอยแตกร้าวและการแอ่นตัว ไม่ให้เกินตามที่มาตรฐานกำหนด การออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงบางส่วนที่สภาวะใช้งานสามารถอ้างอิงจากกราฟดังกล่าว ซึ่งจะทำให้ทราบค่า อัตราส่วนการอัดแรงและความหนาแผ่นพื้นที่เหมาะสมได้ ตัวอย่างการออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงบางส่วน ทั้งที่สภาวะรับน้ำหนักประลัย และรับน้ำหนักใช้งานได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย